

# 154[kV] 가공송전선로 아래에서 전장분포의 측정과 분석

(Measurement and Analysis of Electric Field Distributions under  
154[kV] Overhead Transmission Lines)

李福熙\* · 李廷基\* · 安昌煥\* · 李京沃\* · 朴東化\*\* · 郭熙魯\*\*\* · 宋晉鎬\*\*\*\*  
(Bok · Hee Lee · Jung-Gee Lee · Chang-Hwan Ahn · Kyoung-Ok Lee ·  
Tong-Wha Park · Hee-Ro Kwak · Jin-Ho Song)

## 요 약

본 논문에서는 154[kV] 가공송전선로의 주변에서 발생하는 극저주파 영역(ELF)의 전장의 측정·분석한 결과에 대해서 기술하였다. 상용주파수와 같은 저주파 성분의 검출을 위한 3차원 평행평판형 전장센서를 제작하였으며, IEEE에서 추천하는 실험방법을 적용하여 교정실험을 수행한 바 제작된 전계측정 장치의 주파수 대역은 7[Hz]에서 2.7[MHz]이고, 응답 감도는 0.094[mV/V/m]이었다.

154[kV] 2회선 가공송전선로 아래에서 전장의 실측 실험을 수행하고, 그 결과를 분석하였다. 가공송전선 아래에서의 전장의 분포는 주변의 금속 물체 때문에 비대칭 형상을 나타내었으며 그리고 최대 전계의 세기는 3[kV/m]이하이었다. 본 연구에서의 측정 결과는 관련 여러 국제기관의 제한·권고치를 만족시키고 있다.

## Abstract

In this paper, the results of the measurement and analysis of extremely low frequency(ELF) electric field in the vicinity of 154[kV] overhead transmission lines have been described. The planar-type electric field sensor has been fabricated by three dimensional structure with special consideration of taking the power frequency and lower components. The calibration experiments have been carried out according to the procedures of IEEE recommendation. The electric field measuring system has the frequency bandwidth of 7[Hz] to 2.7[MHz] and the response sensitivity of 0.094[mV/V/m].

Also the practical measurements of electric field under an 154[kV] double circuit overhead transmis-

\*正會員 : 인하대학교 공대 전기공학과

\*\*正會員 : 인천대학교 공대 전기공학과

接受日字 : 1996年 11月13日

\*\*\*正會員 : 숭실대학교 공대 전기공학과

\*\*\*\*正會員 : 세종기술주식회사

sion lines have been made and analyzed. It was known that the lateral electric field profiles under an 154[kV] double circuit overhead transmission lines show the asymmetrical distributions owing to the environmental metal frame structures and their maximum electric field magnitude is less than 3(kV/m). It can be concluded that the measured results of the electric fields satisfy with all limits or guidelines of the various authorized international institutes' recommendations.

### 1. 서 론

컴퓨터의 보급과 정보화 시대가 진행되고 고도의 산업사회가 발전함에 따라서 정보·통신기기, 제어기기, 무인 자동화 기기 등 전자기기의 이용 증대와 생활 적용폭이 더욱 넓어지는 추세이며, 전압과 주파수가 일정한 양질의 전력에 대한 안정적 공급의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 산업의 고도 성장과 생활수준의 향상으로 전기에너지의 사용이 급증함에 따라 대전력의 전송을 위해서 송전전압은 초고압화되어 가고 있으며, 앞으로도 전력소비의 증가와 더불어 전력설비도 대용량화, 초고압화되어가고 있다. 또한, 사회시스템이 전자화됨에 따라 전원으로부터 유입되는 노이즈, 낙뢰 및 유도뢰에 의한 서지의 침입으로 전자설비의 오동작과 소손을 초래하는 경우도 있기 때문에 전기에너지의 전송선로에서 발생하는 전자장 환경(EMC)에 대한 연구의 필요성이 더욱 중요시되고 있다.<sup>1)~3)</sup>

전자장의 많은 변수가 인체 혹은 생체에 영향을 미친다는 역학적, 통계학적 연구 결과로부터 보고되고 있으나,<sup>4)</sup> 각각의 연구 방법이 서로 다르고 단순한 연구 결과만으로 상용 주파수의 전자장이 인체에 유해한 영향을 미친다고 볼 수는 없다. 이와 같이 현재 전자장의 유·무해론에 대해 과학적 근거도 없으며, 명확하게 입증하지 못하는 실정이지만 사회시스템의 관심사로 대두되어 우리 나라 송전선로 주변에서의 전장의 분포와 세기의 파악은 중요하다.

따라서 본 연구에서는 가정용 전자기기로부터 초고압 송전선 설비까지 광범위하게 적용할 수 있도록 응답 감도와 저주파 특성이 우수한 평판형 전장센서를 이용하여 측정 대상에 가장 적합하도록 전장측정계를 설계하였다. 또한 센서의 제작과정 또는 측정에서 함유될 수 있는 오차를

최소화하는 방안을 연구·검토하여 보다 정확한 계측성능을 갖도록 제작하였다. IEEE에서 추천하는 고정실험 방법으로<sup>5)</sup> 전장측정계의 기본 성능과 특성을 측정하고 검토하였다. 그리고 154[kV] 가공송전선로 주변에서의 전장의 세기와 분포 특성을 측정·분석하므로써 본 연구에서 구성한 측정계의 계측 성능을 확인하고, 전자장 환경의 영향 평가기법을 제안하였으며, 측정 결과를 국제 제한규정을 바탕으로 검토하였다.

### 2. 측정계의 구성

본 연구에서 구성한 전장측정계의 동작원리와 이론적인 해석은 이미 상세히 보고한 바 있다.<sup>6)</sup> 7) 자유공간에 존재하는 전장의 수직 성분을 산란없이 정확히 측정하기 위해서는 응답 감도가 우수한 평판형 센서가 가장 적합하다. 따라서 본 연구에서는 감지면이 대지면에 대하여 평행으로 놓일 수 있는 평판형 전장센서와 증폭기 및 전압 버퍼로 측정계를 구성하였으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 평판형 센서는 x, y, z축에 대해 3차원 결합이 가능하도록 한 변의 길이가 20[cm]인 정육면체 구조로 설계·제작하였다.

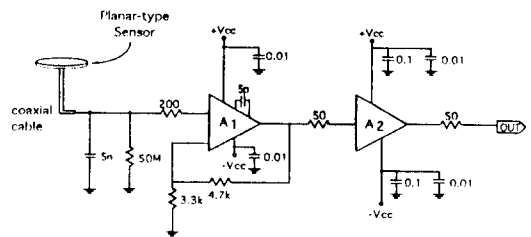


그림 1. 전장측정장치의 개략도  
Fig. 1. A schematic diagram of the electric field measuring device

센서의 재료로는 0.034[mm]의 두께로 동박막을 입힌 비유전율 5.14의 유리에폭시 기판을 사용하여, 감지전극의 반경과 전극사이의 간격을 각각 80[mm], 1.6[mm]로 설계하였다. 이 때 평판형 전장센서의 정전용량은 약 570[pF]이다. 또한, 신호전송용 케이블로는 고주파 특성이 우수하고, 특성임피던스가 50[Ω]인 동축케이블(RG-58A/U)를 사용하였으며, 감지부 이외의 부분은 모두 차폐함내에 넣어서 외부 잡음에 의한 신호의 왜곡을 최소화하였다.

센서에 의해서 감지된 ELF 전장의 신호는 미약하기 때문에 증폭회로를 구성하여 출력을 조절할 수 있다. 연산증폭기로는 입력임피던스가 대단히 크며(약  $10^{12}$ [Ω]), 주파수 대역이 DC~70 [MHz]에 이르는 LH0032를 사용하였다. 이 때 적정의 출력과 저역측 차단주파수의 조정을 위해 연산증폭기의 입력임피던스로는 5[nF]의 커패시터와 50[MΩ]의 저항을 병렬로 접속하였다. 신호전송에 사용된 동축케이블의 정전용량(90~100[pF/m])에 의해서 실신호에 상당한 왜곡을 가져오기 때문에 이것을 제거하기 위해서 증폭기 후단에 전압버퍼(LH0033, DC~100[MHz])를 연결하고, 동축케이블을 통하여 임피던스 정합이 이루어진 회로를 구성하여 신호를 전송하였다.

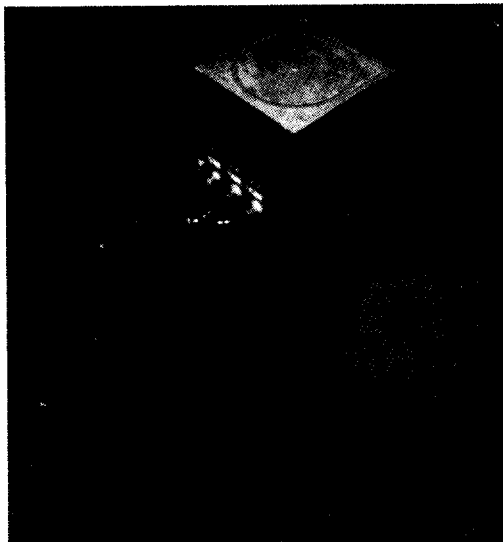


그림 2. 평판형 센서를 이용한 3차원 전장측정장치의 사진  
Fig. 2. Photo. of the three dimensional electric field measuring device with the planar-type sensors

그림 2는 공간전장의 3차원적 측정을 위해 정육면체 구조로 제작된 평판형 센서를 이용한 전장 측정계의 사진이다.

본 연구에서 제작한 평판형 센서를 이용한 전장측정계의 응답 감도와 주파수 대역 등 계측기로서의 고유 응답 특성을 산출하기 위해서 IEEE에서 추천하는 실험 방법을 적용하여 교정 실험을 수행한 결과 전장측정계의 주파수 대역은 7 [Hz]~2.7[MHz]이고, 단위세기의 전장에 대한 측정계의 출력 즉, 응답 감도는 0.094[mV/V/m]이다.

### 3. 실험 방법

전력설비 주변에서 전장의 측정 방법으로는 일반적으로 그림 3과 같이 측정 장치의 높이(지표면으로부터 1[m])를 지표면에서 일정하게 하여 전장 발생원 즉, 전선로를 따라 일정한 간격으로 평행히 측정하는 방법(Longitudinal profile)과 일정한 간격을 두고 전선로를 가로지르며 측정하는 방법(Lateral profile)이 있다.<sup>5)</sup> 다상 다회선 전력전송방식의 계통 운영에 있어서 각 선로 또는 회선사이의 공간적 상호간의 영향 관계나 전장의 분포 특성을 파악하기 위해서는 후자의 방식이 더 적합하고 일반적으로 적용되므로 본 연구에서는 이 방식을 채택하였다.

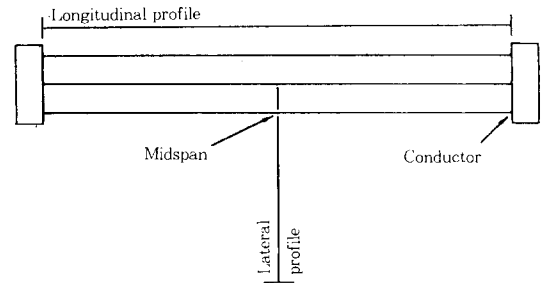


그림 3. 전선로 주변에서 전장의 측정 위치  
Fig. 3. Measuring points of electric fields near the electric power lines

수평거리의 이동(Lateral profile)에 대한 전장의 측정은 지표면으로부터 1[m] 높이에서 이루어졌으며, 이는 우리나라 전기설비기술기준 제

119조 3항에 명시된 허용 전장의 세기가 지표상 1[m]에서의 값이기 때문이다. 또한, IEEE에서도 전장의 측정은 지표상 1[m]에서 수행되어야 하며, 전장센서와 측정자사이의 간격도 2.5[m] 이상이어야 한다고 규정하고 있으므로,<sup>5)</sup> 본 연구에서는 이러한 전장 측정시의 규정사항에 따라 실측 실험을 수행하였다.

또한 전장을 정확히 측정·분석하기 위해 고려해야 할 사항 즉, 전장의 세기와 분포에 영향을 미치는 요인은 발생원과 측정장치 사이의 거리, 측정장치의 위치, 측정장치가 전장 발생원과 이루는 각도, 발생원의 형상 및 규모, 전압·전류의 크기, 금속체를 비롯한 주변물체의 접근정도 등이며, 특히 송전선로 주변에 물체가 접근하면 정전유도로 인한 공간전장분포의 왜곡이 생길 수 있다. 따라서, 측정값의 정확도에 영향을 미치는 요인은 대단히 많으며, 또한 이들 요인이 복합적으로 작용하므로 영향의 정도를 정량적으로 평가하기에는 매우 곤란한 문제점을 내포하고 있으므로 이들의 영향이 최소가 되는 모든 방법을 취하였다.

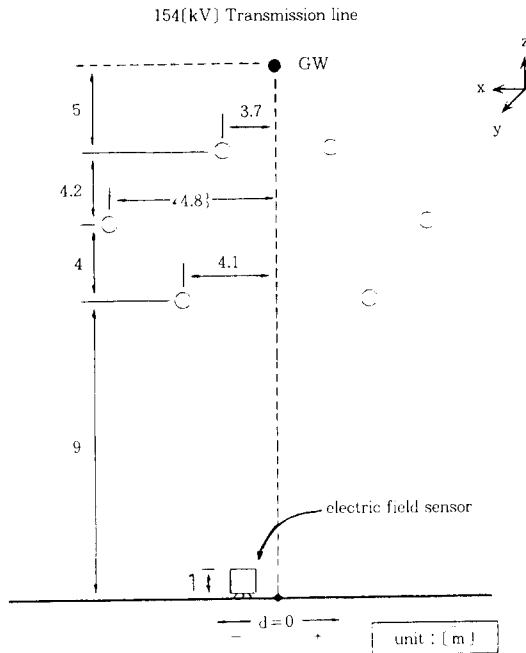
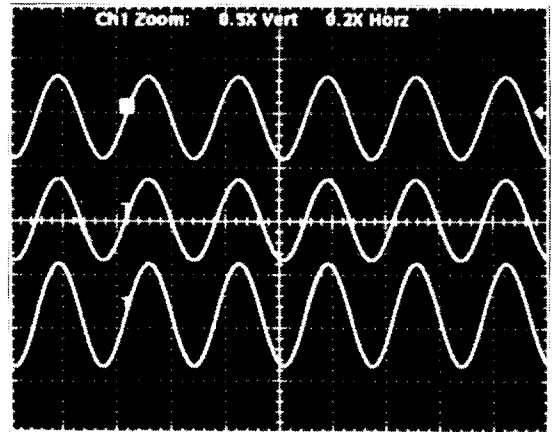


그림 4. 154[kV] 2회선 가공송전선로의 배치와 측정 위치  
Fig. 4. Configuration of an 154[kV] double circuit overhead transmission lines and measuring points

전기에너지의 전송선로는 넓은 범위로의 경우로 인해 실생활에 밀접한 관계를 가지므로 최근 송전선로에 대한 전자장 환경의 연구에 관심이 고조되고 있다.<sup>9), 10)</sup> 본 연구에서는 농경지를 지나는 그림 4와 같은 구조의 154[kV] 송전선로(단도체 2회선 역상수직배열)를 대상으로 하여 가공송전선로에서 발생하는 전장을 측정하였다. 그림 4에 나타낸 상도체간의 이격거리 및 높이는 본 실험이 수행된 특정 장소에서의 대략적인 값이다.

#### 4. 실험결과 및 고찰



상(x축 성분) : 2.55[kV/m/div], 10[ms/div]  
중(y축 성분) : 2.55[kV/m/div], 10[ms/div]  
하(z축 성분) : 2.55[kV/m/div], 10[ms/div]

그림 5. 154[kV] 가공송전선 아래에서 측정된 전장의 파형  
Fig. 5. Measured waveforms of the electric field under an 154[kV] double circuit overhead transmission lines

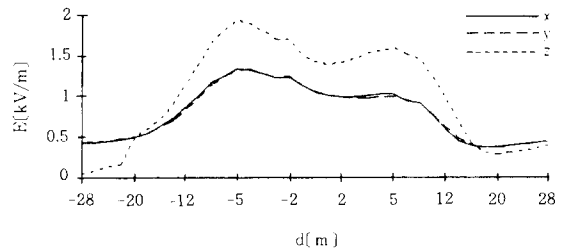


그림 6. 154[kV] 2회선 가공송전선로 아래에서의 전장의 분포  
Fig. 6. Lateral profile of the electric field under an 154[kV] double circuit overhead transmission lines

#### 4.1 가공송전선로 아래에서의 전장의 분포

전력계통의 정상 운전중에 측정된 전력설비를 비롯하여 송전선로 주변의 전장의 파형은 그림 5와 같이 주로 60[Hz] 정현파 성분만이 검출되므로 계통 사고 등으로 인한 과도 성분의 분석을 목적으로 하지 않는다면 정상 성분의 세기를 측정하고 분석하는 것이 타당하다. 154[kV] 가공송전선로에 대해서 선로의 중앙(가공지선의 직하)을 원점으로하여 수평거리의 이동에 따라 변화하는 전장의 세기를 그림 6에 나타내었다.

2회선 배열방식의 송전선로에서 발생하는 전장의 특성을 보다 심도있게 분석하기 위해서는 각 회선에 대한 측정을 별도로 실시하는 것도 필요하겠으나 정상적인 계통 운용상 현실적으로 어려움이 따르므로 본 논문에서는 2회선 송전선로의 총체적 특성만을 분석하였다.

변전소 이외의 지역에서 가공송전선로로부터 발생하는 전장의 세기가 가장 높은 곳은 일반적으로 변전소로의 인입선과 인출선이 통과하는 곳이다. 본 실험이 수행된 장소를 경유하는 154[kV] 송전선로는 변전소의 인출선이므로 다른 지역에 있는 같은 규모의 가공송전선로에서보다 전장의 세기가 다소 높을 것으로 예상된다. 따라서 전자장 환경의 평가에 상한으로서의 기준이 될 수는 있으나, 본 측정 결과를 가공송전선로에 대한 대표적인 예로써 일반화시키는 것은 곤란하므로, 특정한 장소에 대한 전장의 세기와 특성의 일례로 해석하는 것이 타당하다. 가공송전선로 아래에서의 전장의 세기의 분포는 회선수, 도체의 배열방식에 따라 변화한다. 특히 도체의 수평, 수직, 3각 배열방식과 역상 또는 정상 배열 방식에 따라서 전장의 분포는 대단히 다른 형상을 나타내게 된다.

그림 6에 나타낸 154[kV] 가공송전선로에 대한 측정 결과에서 보면, 전장의 분포는 2회선 역상 수직 배열방식의 송전선로에서 나타나는 M자 형상을 보이고 있으며, 측정위치 주변에 있는 금속재를 사용한 구조물에 정전유도된 성분과 양회선의 중앙에 위치한 가공지선이 공간전장분포에 영향을 미치므로 측정된 전장분포가 어느 정도 비대칭적으로 나타났다. 전장의 세기의 최대

값은 전기설비기술기준령에 정해진 제한값이하이었으며, 전자환경적 측면에서 보면 합리적인 전선로의 설계가 이루어진 것으로 볼 수 있다.

#### 4.2 실험 결과의 고찰

본 연구에서 구성한 측정계를 이용하여 측정된 154[kV] 송전선로 주변에서의 x, y, z축 각 방향에 대한 전장의 3차원적 분포를 바탕으로 하여 벡터적으로 합성된 세기를 산출하였다. 전장은 전하에 의해 공간중에 형성되는 일종의 단위 전하당의 힘으로 크기와 방향을 갖는 벡터이므로 공간상 임의의 점에서 전장의 세기를 산출하기 위해서는 측정된 x, y, z축 각 방향의 세기를 다음의 식과 같이 벡터적으로 합성해야 한다.

$$E_{res} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (1)$$

여기서,  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ 는 각각 x, y, z축 방향의 전장 성분이다.

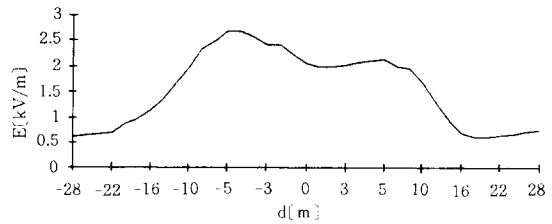


그림 7. 154[kV] 2회선 가공송전선로 아래에서의 합성 전장의 분포

Fig. 7. Lateral profile of total electric field under an 154 [kV] double circuit overhead transmission lines

그림 7에 154[kV] 2회선 가공송전선로 아래에서의 전장의 세기를 나타내었다. 농경지를 경유하는 변전소의 인출선인 154[kV] 가공송전선로(단도체 2회선 역상수직배열) 아래에서의 전장의 세기는 최대 2.69[kV/m]이며, 비교적 낮은 값이다. 그러므로, 본 연구에서의 측정 결과는 국내외의 제한·권고치를 만족시키고 있다.<sup>10)</sup>

특히, 전장의 세기는 날씨, 기온 등 일기 상태와도 밀접한 상관 관계를 가지므로 맑은 날의 측정 결과인 본 연구에 대해서도 이들 요인을 고려한 보충적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 세계 여러 나라의 가공송전선로 아래에서의 전장의 세기의 제한값을 표 1에 나타내었으며, 전장의 제한값도 각각 다르며, 대체로 송전전압이

낮은 나라의 경우가 제한규정도 엄격하다. 우리나라의 경우 가공송전선로 아래에서 지표상 1[m]의 높이에서 전장의 세기는 사람이 빈번히 왕래하는 장소에서는 3.5[kV/m]이며, 사람의 출입이 드문 산악지대에서는 7[kV/m]이다.<sup>8)</sup>

표 1. 전장의 세기에 대한 세계 여러 나라의 규제 현황

Table 1. Electric field limits and guidelines by country

국명 / 기관명	전장의 세기 [kV/m]	비 고	
한 국	3.5	사람의 출입이 빈번한 장소	
	7	기 타	
일 본	3	보행이 빈번한 장소	
	5	기 타	
미 국	New Jersey	3 ROW 경계*	
	New York	1.6 125[kV] ROW 경계	
	Florida	10	500[kV] ROW 경계
		8	230[kV] ROW 경계
	Oregon	2	새로 건설되는 시설
		9	최 대 치
7		ROW 경계	
Minnesota	8 230[kV] ROW 경계		
이 탈 리 아	5	ROW 경계	
영 국	10	ROW 경계	
구 소 련	10	ROW 경계	
호 주	5	일반인 - 장기	
	10	일반인 - 단기	
	10	전문종사자 - 장기	
	30	전문종사자 - 단기(2시간/일)	
IRPA <sup>b)</sup> /INIRC <sup>c)</sup>	5	일반인 - 24시간/일	
	10	일반인 - 수시간/일	
	10	전문종사자 - 장기	
	30	전문종사자 - 단기	

a: Edge of Right of Way

b: International Radiation Protection Association

c: International Non-Ionizing Radiation Committee

### 5. 결 론

본 연구에서는 가공송전선 주변에서의 전장 분포를 측정하기 위해서 평판형 전장센서를 이용하여 3차원 전장측정계를 설계·제작하였으며, 154[kV] 2회선 가공송전선 아래에서의 전장의 세기에 대한 실측 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평판형 전장센서를 이용하여 주파수 대역과 응답 감도가 각각 7[Hz]~2.7[MHz], 0.094[mV/V/m]인 전장측정계를 개발하였다.

(2) 154[kV] 2회선 역상수직배열의 가공송전선로 아래에서의 전장분포의 측정 결과, 최대 2.69[kV/m]이었으며, 세계 여러 나라와 관련 국제기관의 제한·권고치를 만족시키고 있으며, 여러 문헌의 연구 결과와 대체로 일치하였다.

(3) 상용 주파수의 전장에 대한 응답의 선형성이 우수한 육면체 구조의 평판형 센서를 이용하여 3차원 전장측정계를 실현함으로써 ELF 공간전장의 변화를 왜곡 없이 측정하고, 종합적으로 분석하는 것이 가능하므로 본 연구 결과와 제작된 전장측정계는 전자장 환경의 기초적 연구에 적용될 것이다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관(과제관리번호: 94-중-06)으로 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- 1) R. P. Corcoran, "Extremely Low Frequency Exposure Limits Relative to Military Electrical/Electronic System Environments", IEEE Int. EMC Symposium, pp. 62~67, 1992.
- 2) W. Kohler, "Measurement and Calculation of Low Frequency Electric and Magnetic Fields", 9th ISH, 8338-1~4, 1995.
- 3) W. Gochnio, F. Mosinski and A. Wira, "Electric and Magnetic Field Maxium Values Calculation and Measurement for Center Region of Poland", Proc. of 9th ISH, pp.8367-1~3, 1995.
- 4) John M. Osepchuk, "Biological Effects of Electromagnetic Radiation", Proc. of ICEMC '95, pp. 1~64, 1995.
- 5) "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines", ANSI/IEEE Std. 644-1987, pp. 17~21, 1992.
- 6) 백용현, 이복희, 안창환, "전계측정용 센서의 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 40, No. 6, pp. 630~637, 1991.6.
- 7) 이정기, 안창환, 이복희, 길경석, 박동화, "345/154[kV] 초고압 송변전설비 주변에서의 전장의 측정과 분석", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol.

C, pp. 1861~1863, 1996.

- 8) "송변전 설계기준", 한국전력공사, 1990. 2. 7 개정판.
- 9) A. A. Al-Arainy, N. H. Malik, L. N. Abdul-Aal, "Electromagnetic Interference from Transmission Lines Located in Central Region of Saudi Arabia", IEEE Trans. PD, Vol. 4, No. 1, pp. 532~538, 1989.
- 10) R. Maruti, K. M. Srinivasa, "Electric and Magnetic Field around AC Transmission Lines and Substations", 9th ISH, pp. 8350-1~4, 1995.

◇ 著 者 紹 介 ◇



**이 복 희(李福熙)**

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~1989년 일본동경대학교 생산기술연구소 객원연구원. 1990년~현재 인하대 공대 전기공학과 부교수.



**이 정 기(李廷基)**

1972년 1월 31일생. 1994년 인천대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.



**안 창 환(安昌煥)**

1959년 11월 4일생. 1983년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.



**이 경 옥(李京沃)**

1960년 6월 24일생. 1987년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.



**박 동 화(朴東化)**

1946년 4월 28일생. 1974년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1980년~현재 시립인천대학교 전기공학과 교수.



**곽 희 로(郭熙魯)**

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 호주 New South Wales대 대학원 졸업(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년 미국 MIT 방문교수. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수, 공과대학 학장.



**송 진 호(宋晉鎬)**

1952년 5월 5일생. 1994년 2월 삼척산업대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 인하대 산업기술대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 세종기술주식회사 대표.